

エネルギー消費量を指標とした静水中歩行と流水中歩行の比較

森 茂美 藤井 久雄

キーワード：水流発生装置，水中歩行，酸素摂取量，エネルギー消費量

A comparison of energy expenditure in still and flowing water during aqua walking

Shugemi Mori and Hisao Fujii

Abstract

In this study, the relationship between heart rate and oxygen intake while walking in still and flowing water under the same controlled conditions were compared and, also, the relationship between estimated oxygen consumption and the heart rate was in both types of walking. Subjects were 4 healthy male college students who belonged to athletic clubs. The experiment was pursued by the side a pool at the depth of 1.2~1.35 m and water flow was generated with Flow Machine PM7type produced by Therapist Co. Speed of water flow was set at 0.4 m/sec and intensities of walking exercises were determined by self-perceived levels at very slow, moderate, and maximal effort. A portable gas analyzer (Anima: AT-1100) and Polar HR monitor (Canon: Accurex Plus) were used. Protocol consisted of 5 min each for resting, slow, moderate and maximal walking, and 10 min recovery.

Results indicated: (1) HR was lower for still water walking than flow water one, (2) $\dot{V}O_2$ at average of every 10 heart beats in flow water walking was higher than in still water one at 60~100 beat level., (3) Actual total $\dot{V}O_2$ was significantly higher than that estimated from the calculation with HR and $\dot{V}O_2$ in still water walking. It was concluded that at the same HR level walking in the flow water produce more energy expenditure than in still water.

Key words: aqua walking, heart rate, energy expenditure,

1. 研究の背景・目的

最近わが国では、悪性新生物（がん）、脳血管疾患、心疾患など生活習慣病が問題視されている。また、生活習慣病を引き起こす最大の要因と言われているのが肥満である。このことに関して、厚生労働省が行っている健康づくり運動「健康日本 21」では、肥満を防ぐことがさまざまな生活習慣病を防ぐことにつながると報告しており、その改善、予防策としては、食習慣、喫煙、飲酒、休養に

加えて、肥満に対する運動の効果や、運動習慣の重要性について述べられている。

また、最近「健康ブーム」と言われ、余暇を使い積極的に運動を行う人々が増えているのが現状である。しかしながら、中高年者や体に病気、障害を抱えている人にとって、スポーツクラブでの過度・過重なトレーニングや、陸上で体重を支えて行う運動は、関節や循環器系など生体への負担が大きく、困難、かつ危険であると言っても過言ではな

い、このような人々が生体への負担を軽減して運動を行うことができるのが、水の特性（浮力・水圧・水温・抵抗）を利用して行う水中運動である。水の特性を用いることにより、体重負荷の軽減や、筋力強化、呼吸循環機能の増大、筋弛緩・鎮痛・血行改善、精神的ストレスの解消などの効用が言われており、身体に障害をもっている人のリハビリテーションとして、また、術後のリハビリテーションとしても有効とされてきた。なかでも水中歩行は、動きに慣れやすく運動強度の設定がしやすい^{3,4,5,7,8)}ことや、水泳のように「技能」を必要としないだけでなく、関節の障害を発生させる危険性が少なく、さらに、下肢筋力が低下した高齢者であっても「気軽に」始められる運動であると考えられている。また、水泳と同様、陸上に比べて熱エネルギーの放出増加が期待できることから、生活習慣病の原因である肥満を改善させる手段としても期待できるものである⁵⁾。このエネルギー消費量に関する研究では、水中歩行は低い心拍数で陸上の歩行よりも多くの酸素摂取量が得られるという結果が数多くなされている^{1,2,4,5)}。

さらに、最近では、水流発生装置を用いてプールに水流をつくり、その流水下で直接流れに当たること（直当て）や歩行、エクササイズを行う水中運動が行われている。この水流発生装置を用いた水中運動（以下、流水中運動）に関する研究はまだ数が少ないのが現状である。しかしながら、水流発生装置使用下の水中運動療法においては、従来の水中運動単独時と比較して、肥満度、心肺機能、体幹・下肢筋力、腰痛・膝関節症状などに効果的な改善が認められたという研究結果が報告されており^{1,6,9)}、従来の水中運動よりもさらに、リハビリテーションの効果を高めたり、エネルギー消費量の増大に結びつくことが考えられ、このことより、中高年者や低体力者の運動や、生活習慣病につながる「肥満」の改善・防止の運動としての有効性が高まるのではないかと考えた。

そこで本研究は、静水中、流水中での同一条件下において、それぞれ実際の歩行を行い、その時の心拍数と酸素摂取量の関係を求める。さらに、推定されるエネルギー消費量を算出することにより、心拍数との関係を2種類の歩行について比較することを目的とした。

2. 研究方法

(1) 被験者

被験者はいずれもS大学学友会の運動部に所属し、運動習慣のある健康な男子学生4名であった。彼らの平均年齢は 22 ± 0.8 歳（平均±標準偏差、以下同様）で、その身体的特性は、身長 172.8 ± 5.0 cm、体重 70.3 ± 14.1 kg、体脂肪率 $21.3 \pm 9.8\%$ であった。体重および体脂肪の測定時は、水中歩行時と同様、競泳用の水着を着用した。また、被験者には事前に静水中、流水中の歩行を行わせており水中の歩行には慣れている者であった。なお、被験者には事前に

研究の主旨、内容が説明されており、研究への参加の同意を得たうえで行われた。

(2) 測定方法

実験はS大学室内プールにおいて、連続した2日間で行われた。静水中歩行と流水中歩行は別の日に行われたが、日内変動による影響を考慮し、2日間同じ被験者が同じ時間に測定が行われるように設定された。その時のプールの環境条件は、室温 $30.8 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、水温 $28.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 、水深は1.2M~1.35Mであった。プールには勾配があり、深さが一定ではないことから、生理的影響を考え25Mプールを縦方向にスタート台側から4Mの距離をスタート地点とし、そこから16Mまで12Mの往復運動を行った。また、プールは、横に壁のある端の1コースを使用した。その際の運動負荷は、5分毎に速度を増す3段階の漸増運動によって行った。その設定の仕方は次の通りである（表1）。静水中歩行、流水中歩行いずれも、1段階目の速度は「とてもゆっくりの速さ」とし、 0.4m/sec と統一した。これは、プールサイド3メートルごとにカラーコーンを置き、メトロノームのリズムに合わせて歩行を行うことで被験者全員が一定のスピードになるように設定をした。2、3段階目の歩行速度に関しては、静水中と流水中で同じ速度で歩くのは困難なため、各被験者が、それぞれの段階における主観的運動強度が静水中歩行と流水中歩行でほぼ同じになるように次のような設定を行った。2段階目の速度は「普通の速さ：駅に少し急いで歩く速さ」、3段階目の速度は「最大の速さ：自分が歩ける最大の速さ」とした。また、流水中歩行時は、プールサイドに水流発生装置（セラピスト社：フローマシンPM7型）を設置し、 1.0m/sec の水流を発生させた状態で歩行を行った。なお、歩行中の手の動作であるが、静水中歩行、流水中歩行いずれにおいても、被験者は、携帯型呼吸ガス分析装置の入っている発砲スチロールの箱に両手を添え、プールに浮いた箱を押す状態で歩行を行っているため、手で水をかくという動作は関与しない水中歩行であった。

表1 実験のプロトコール

	運動強度	測定時間
安 静		5分
レベル1 (0.4m/sec)	とてもゆっくりの速さ	5分
レベル2	普通の速さ	5分
レベル3	最大の速さ	5分
回 復		10分

被験者は競泳用の水着に着替えた後、体重、体脂肪率を体脂肪計（TANITA：TBF-310）にて測定し、すべての被験者共通のウォーミングアップを行った。その後、体表面の水をよくふき取り、座位安静により待機し、HRモニター（キャノン：アキュレックスプラスハートレイトモ

ニター)と携帯型呼気ガス分析装置(アニマ:AT-1100)を装着した。なお、本実験で用いた携帯型呼気ガス分析装置を使用するにあたり、予備実験として、被験者たちの安静時代謝を固定式呼気ガス分析装置(ミナト医科学:AE-300)との間で比較し、両装置の間に有意な相関を得ている。実験のプロトコールは共通で、最初の5分間は水中でプールの壁に背中をつけた立位状態で安静にさせ、安静時の心拍数(HR)と酸素摂取量($\dot{V}O_2$)の測定をした。その後、5分ずつ3段階の速度で歩行を行い、15分の歩行終了後ただちにプールの壁に背中をつけた立位状態で安静にさせ、10分間の回復を測定した。被験者1人に対して、運動時間を15分間とした合計30分間の測定時間であった。その間、携帯型呼気ガス分析装置本体から送られてくるデータは、プールサイドにて随時リアルタイムでの観察が可能であった。

(3) データ分析

各歩行について測定した $\dot{V}O_2$ とHRは、それぞれの条件下での平均を求め分析を行った。また、種々の群間における有意差の有無を、それぞれ繰り返しのある二元配置の分散分析を行い、多重比較を行った。なお、有意水準は5%未満とした。

4. 結果

(1) 測定時間中におけるHRの変化

(図1および図2)

図1に静水中歩行のHRの変化、図2に流水中歩行のHRの変化を示した。静水中歩行、流水中歩行いずれにおいても、運動レベルの増加に伴い、HRは有意に増加した。また、測定時間中、流水中歩行のHRは静水中歩行よりも低い傾向が見られた。

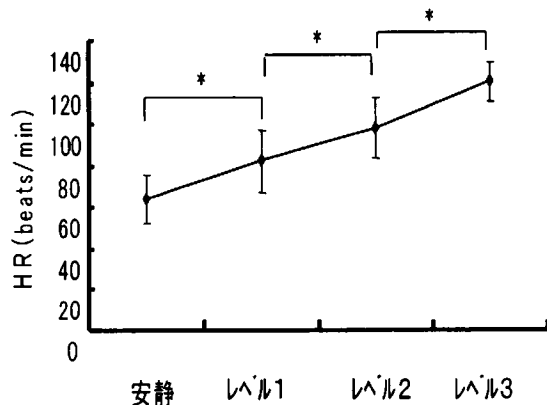


図1 静水歩行時のHRの変動 * $p < 0.05$

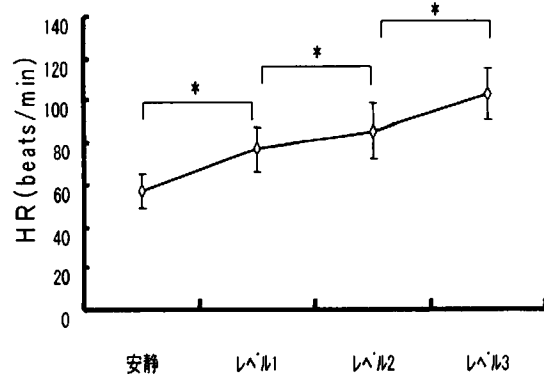


図2 流水中歩行時のHRの変動 * $p < 0.05$

(2) HRと $\dot{V}O_2$ の関係(図3)

図3には、被験者4人の平均から求めた、HRと $\dot{V}O_2$ の関係を示した。測定中に得られたHRを10拍ごとに区切り、そのHR時の体重1kg当りの $\dot{V}O_2$ を静水中歩行と流水中歩行において比較をした。その結果、HRが50beats/min台を除いて、全てのHRにおいて流水中歩行よりも流水中歩行の方が $\dot{V}O_2$ は高い傾向が見られた。また、特に、HRが90beats/min台($17.87 \pm 2.25 \text{ ml/min/kg}$)のとき、静水中歩行($14.55 \pm 2.98 \text{ ml/min/kg}$)よりも有意に高い $\dot{V}O_2$ の値であった。

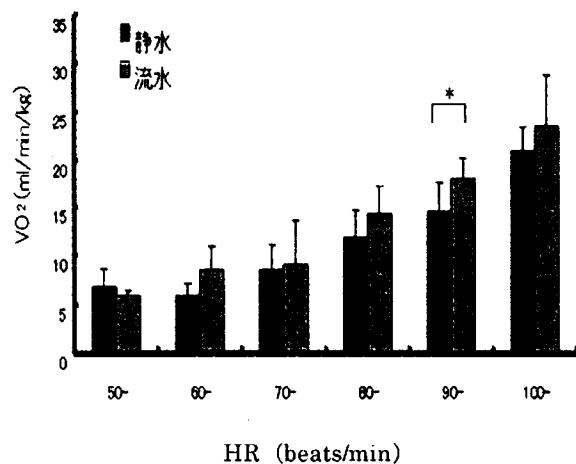


図3 10拍ごとの心拍数と酸素摂取量の関係 * $p < 0.05$

(3) $\dot{V}O_2$ の実測値と推測値の比較

(図4および図5)

被験者4人の平均値について、それぞれ静水中歩行時のHRと $\dot{V}O_2$ からなる回帰式を求め(図4)、その式に流水中歩行時のHRを代入して、推測される流水中歩行時の $\dot{V}O_2$ の値(以下、推測値とする)を求めた。算出した推測値の $\dot{V}O_2$ と実測値両方について、被験者4人それぞれ、測定時間中(運動前、運動、回復)30分間の総 $\dot{V}O_2$ を求

め、そこから4人の平均を算出した(図5)。その結果、測定時間における実測値の総 VO_2 は、推測値の総 VO_2 よりも有意に高かった。

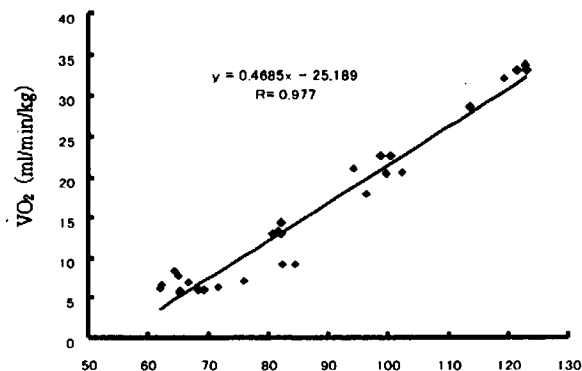


図4 静水中歩行時の心拍数と酸素摂取量の相関

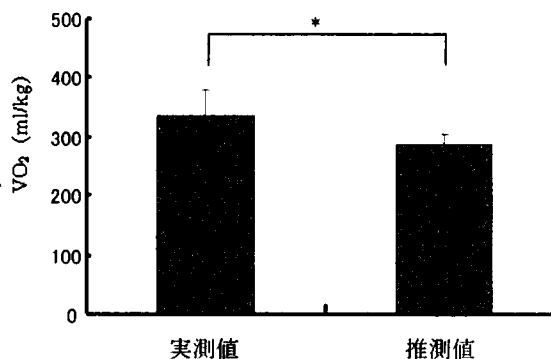


図5 実験中の総酸素摂取量の実測値と推定値の比較 * $p < 0.05$

(4) 測定時間における総エネルギー消費量の推測値と実測値の比較 (図6)

静水中歩行のHRと VO_2 の関係から回帰式をつくり、そこに流水中歩行のHRを代入して求めた、流水中歩行の推測値の VO_2 と、流水中歩行の実測値の VO_2 を元に、酸素1リットル当たり5kcalとして、運動中の推定させる総エネルギー消費量を算出した。これを、静水中歩行、流水中歩行について被験者4人の平均値を求め、比較を行った(図6)。

その結果、流水中歩行の実測値の VO_2 から算出した推定される総エネルギー消費量は、推測値のそれに比べて有意に高かった。

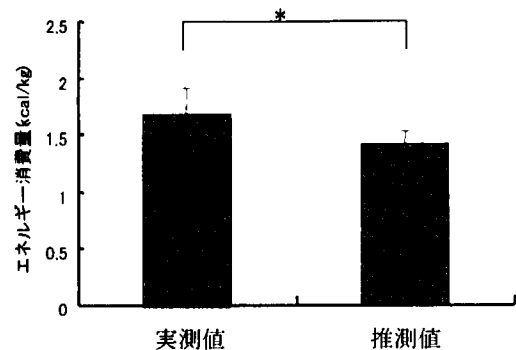


図6 実験中の総エネルギー量の実測値と推定値の比較 * $p < 0.05$

5. 考察

① 運動レベルとHRおよび VO_2

運動レベルとHRの関係を運動レベルごとに比較したところ、静水中歩行と流水中歩行のHRの間には、運動前、レベル1、レベル2、レベル3のいずれにおいても、有意な差はみられなかった。しかし、測定時間中(運動前、レベル1、レベル2、レベル3)を通して見てみると、終始、静水中歩行時よりも、流水中歩行時のHRの方が低くなっていることが分かった。また、運動後においても同じで、HRは終始静水中よりも流水中の方が低い結果であった。しかしながら興味深いのは、この様に、HRは終始流水中歩行の方が低くなったにもかかわらず、 VO_2 について見てみると、流水中歩行の VO_2 は、決して静水中歩行の VO_2 と比較して、有意に低いとは言えない結果であったことである。このことは、両歩行ともほぼ同等の運動強度、同じ運動時間を行っているにもかかわらず、流水中の歩行の方が、静水中を歩行するよりもHRが上がらずに運動の継続が可能であり、さらに、静水中歩行と同等の VO_2 が得られるということを示唆している。

HRに関しては、陸上と水中の実験において、浸水前と浸水後では水圧の関係から10%程度のHRの低下がみられたという報告がなされており、陸上よりも水中の方が水圧などの影響をうけHRが低下するということが知られている⁸⁾。しかしながら、今回の実験では、ある一定の同じ条件下で、かつ、比較をした両歩行とも水中という統一の環境であったにも関わらず、安静時や回復時の動きを伴わない状態においてもこの様な違いがあったということは、同じ水中下でも、そこに流水が流れることによって、何らかの生理的な影響があり、静水中にいるよりもHRを低下させたと考えられた。

また、水流発生装置から発生する強い乱流の中では、空洞現象がおき超音波が発生されると言われている。さらに、体の皮膚表面を小さな気泡が流れていくことにより爽快感やリラックスゼーションの効果があるとも言われていることから、精神的・心理的な何かが、影響している可能性も一因として考えられるかもしれない。

② HRとVO₂の関係

実験から得られたデータを元に、HRを10beats/minごとに区切り、その時の4人の被験者のHRと体重1kg当たりのVO₂の平均を求め、その時々について、静水中歩行と流水中歩行で比較を行った。

その結果、HRが50beats/min台の時を除いて、全てのHRにおいて静水中歩行よりも流水中歩行の方がVO₂が高い傾向にあった。また、HRが90beats/min台の時では、静水中歩行よりも流水中歩行の方が有意にVO₂の値が高くなった。このことから、今回の実験では、水流発生装置を用いた水中運動を行う場合、HRが60beats/min台から100beats/min台では、同じHRでも静水中で運動を行うよりも、より多くのVO₂が得られることが示唆された。また、特にHRが90beats/min台になる運動をすることにより、VO₂を効率良く高めることができると推察された。さらに、今回の実験から得られたHR90beats/min台の時のVO₂の平均は17.87ml/min/kgであり、被験者の平均体重から計算すると、1時間この運動を続けたと仮定して、約376.8kcalを消費すると推定できる。運動の始めから終わりまで、このHRで持続することは、生理学的に不可能だとしても、「健康日本21」で言われている、目標1日1万歩程度(200kcal~300kcal消費)の運動は十分できると言える。また、HRが90beats/min~100beats/min程度の運動は、心拍数を基準とした運動強度からみると、一般的に中高年齢者の最大酸素摂取量の約50%~60%前後とされている。このことから、今回は平均年齢22.0±0.8歳という若い被験者で実験を行った結果であるが、中高年齢者を対象としても、今回同様の結果が期待でき、流水中歩行は十分に健康運動としての呼吸循環機能の鍛錬の目的が十分達成できるとであろう。

③ 測定時間における総エネルギー消費量の推測値と実測値の比較

静水中と流水中において、同じHRで30分間の運動を行った場合、推定される総エネルギー消費量はどちらが高くなるのかを明らかにするために、静水中歩行を元に、推測される流水中歩行のVO₂の推測値を求め、流水中歩行で得られたVO₂の実測値と比較を行った。その結果、同じ運動強度、運動時間、さらに同一条件下で同じ運動を行ったにも関わらず、静水中歩行よりも、水流発生装置を用いた流水中歩行の方が、総エネルギー消費量が高まるということが示唆された。このことから、水流発生装置を用いた流水中歩行は、HRを低く保ち、生体への負担や危険を軽減しながら、エネルギーを消費させる運動として有効であると言える。

運動レベルとVO₂の関係から見ても、静水中歩行と流水中歩行の間には差がみられなかった。また、HRとVO₂の間にも大きな差は見られなかった。しかしながら、エネ

ルギー消費量にして比較をすると有意な差が見られたということは、流水によって、生体は何らかの生理学的影響を受けているのは確かである。その影響としては、今回静水中での歩行では、レベルごとに常に一定の速度で歩いているため、生体にかかる負荷も一定であった。しかし、それに対して流水中での歩行では、流れに逆らったり、流れに流されたりという運動形態になるため、その往復運動が、一般にトレーニングの一つとして行われているインターバルトレーニングの様な運動となり、そのことがHRやVO₂に影響を与え、総エネルギー消費量との関係にも有効に働いたのかもしれない。

水流発生装置を用いて流水中で運動を行う場合には、今回の往復運動による運動形態の他にも、流れに逆らって動く、また、流れに流されて動く、ある一定の流れのあるところでその場にとどまって動く、さらに、流速をかえることによって生体にかかる負荷を増減するなど、運動のバリエーションが多くあり、その形態の違いにより、生体に及ぼす影響も違ってくると思われる。そのことから、今後流水中におけるさまざまな運動形態での研究を行っていく必要があるであろう。また、それと同時に、同じ水中で運動するにしても、これ程、またこれ以上に色々な運動の形態を作り出せるということにも注目をして、今後、リハビリテーションやトレーニングの現場でも、さらに活用できるのではないかと考えられた。

また、先に述べたように、水流発生装置からつくりだされる流水下では、超音波効果や、水流により体を揉みほぐされるフラッター現象、温熱効果などさまざまなことが言われている。今回の実験では、エネルギー消費量に注目をして以上の結果が得られたが、その要因として考えられるこのようなものから受ける影響についても、今後研究をする必要があるであろう。

6. 総括

測定時間中(運動前、運動時および回復時:計30分間)の静水中歩行と流水中歩行において、

- ①HRは静水中歩行に比べて、流水中歩行の方が低い傾向にあった。
- ②10拍ごとの平均HRで、それぞれのVO₂を比べると、60~100拍台では、静水中歩行に比べ流水中歩行で高い傾向がみられ、特に90拍台では、有意に高値を示した。
- ③静水中歩行時のHRとVO₂から求めた流水中歩行時における測定時間中の総VO₂の推測値に比べて、流水中歩行の実測値の総VO₂の方が有意に高かった。
- ④このことは、流水中歩行時における測定時間中の総エネルギー消費量でも同様であった。

以上の結果より、静水中と同等のHRにおいて、流水中で運動をすると、静水中よりも多くのエネルギー消費量が

得られるということが考えられた。

参考文献

- 1) 赤嶺卓哉, 田口信教: 腰痛・変形性膝関節症例に及ぼす水流発生装置を用いた水中運動療法の影響, *Journal of Joint Surgery* (1999) 18, 967-973
- 2) 小野寺昇, 宮地元彦, 木村一彦, 米谷正造, 中村由美子: 水中トレッドミルを用いた中歩行運動時の粘性抵抗と水位の変化がエネルギー代謝量へ与える影響, *デサントスポーツ科学*(1993)14, 100-104
- 3) 加藤尊, 福沢昌平, 菅嶋康浩, 北川薫: 流水装置を用いた水中歩行の特徴ースイミングプールの水中歩行と陸上トレッドミル歩行との比較からー, *体力科学*(2000) 51, 119-128
- 4) 北川薫, 福澤昌平, 金樹直也: 水中歩行の心拍数と酸素摂取量ーその1ー, *中京大学体育研究所紀要*(2001) 15, 43-46
- 5) 高石鉄雄, 石田浩司, 小野隆: 水中歩行は運動処方に有効か? *デサントスポーツ科学*(1994) 15, 252-260
- 6) 高田信二郎, 中野俊次, 松浦哲也, 高橋光彦, 油形公則, 東野恒作, 安井夏生: 流水プールを用いた水中運動訓練, *別冊整形外科* (2003)44, pp223-226
- 7) 仁平律子, 原英喜, 山田佳弘, 柴田義晴: 水中歩行は陸上の歩行にまさるかー水中トレッドミルによる歩行の運動強度についてー, *デサントスポーツ科学* (1992) 13, 193~199
- 8) 堀田昇, 大柿哲朗, 金谷庄蔵, 藤島和孝, 萩原博嗣: 高齢低体力者に対する水中で運動療法, *デサントスポーツ科学*(1994)15, 78-83
- 9) 堀田昇, 大柿哲郎, 金谷庄蔵, 藤島和孝: 新しい水中運動装置 (flowmill) を用いた運動療法, *体力研究* (1995) 88, 11~17
- 10) 八田秀雄: 「エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング」(2004)